



# 과학적 창의성

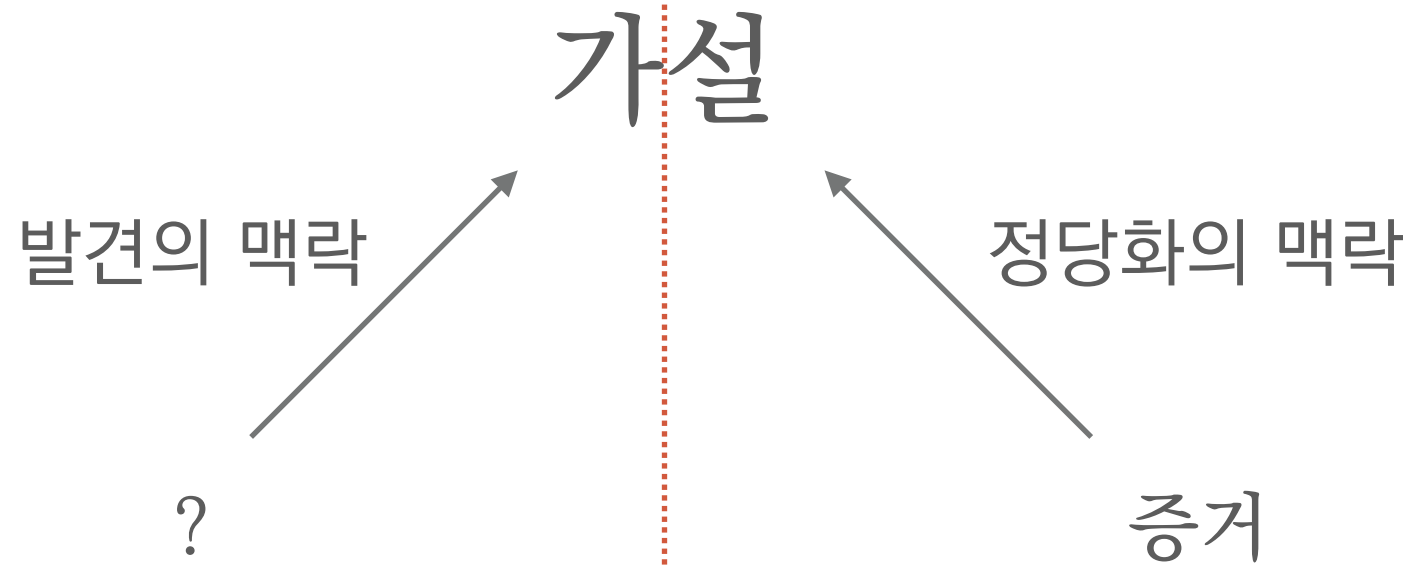
과학의 비언어적 기반과 은유





# 오래된 이분법

---





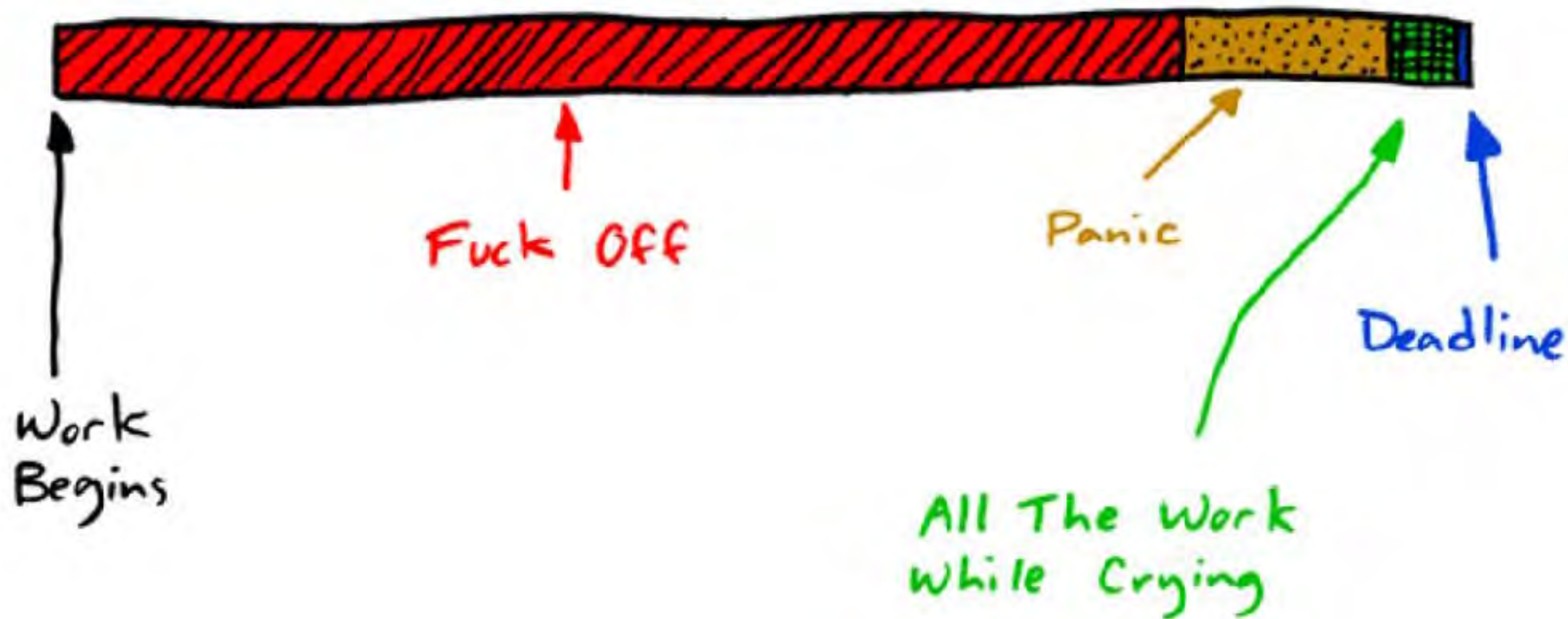
## 발견의 논리는 없다

.....

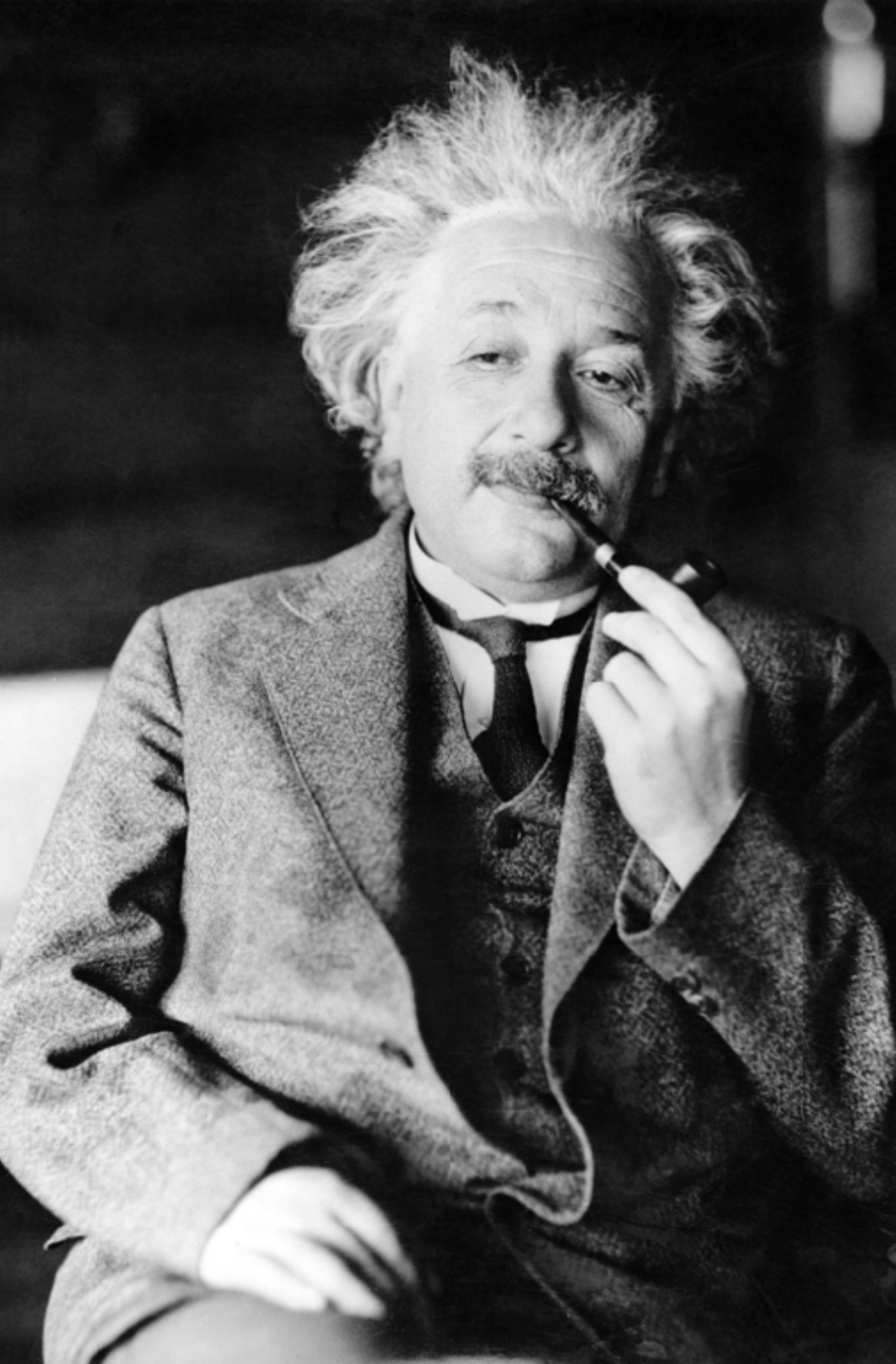
최초의 단계, 즉 이론을 착상하거나 창안하는 행위는 필자에게는 논리적 분석을 요구하지도 않거니와 그렇게 분석되지도 않을 것이라 여겨진다. 어떤 참신한 생각이—그것이 음악의 테마든지, 극적 갈등이든지, 과학 이론이든지 간에—도대체 어떻게 한 인간에게 떠오르느냐 하는 문제는 경험 심리학의 큰 관심사일 수 있다. 그러나 그것은 과학적 지식의 논리적 분석과는 무관하다.

칼 포퍼

# THE CREATIVE PROCESS







## 아인슈타인의 회고

.....

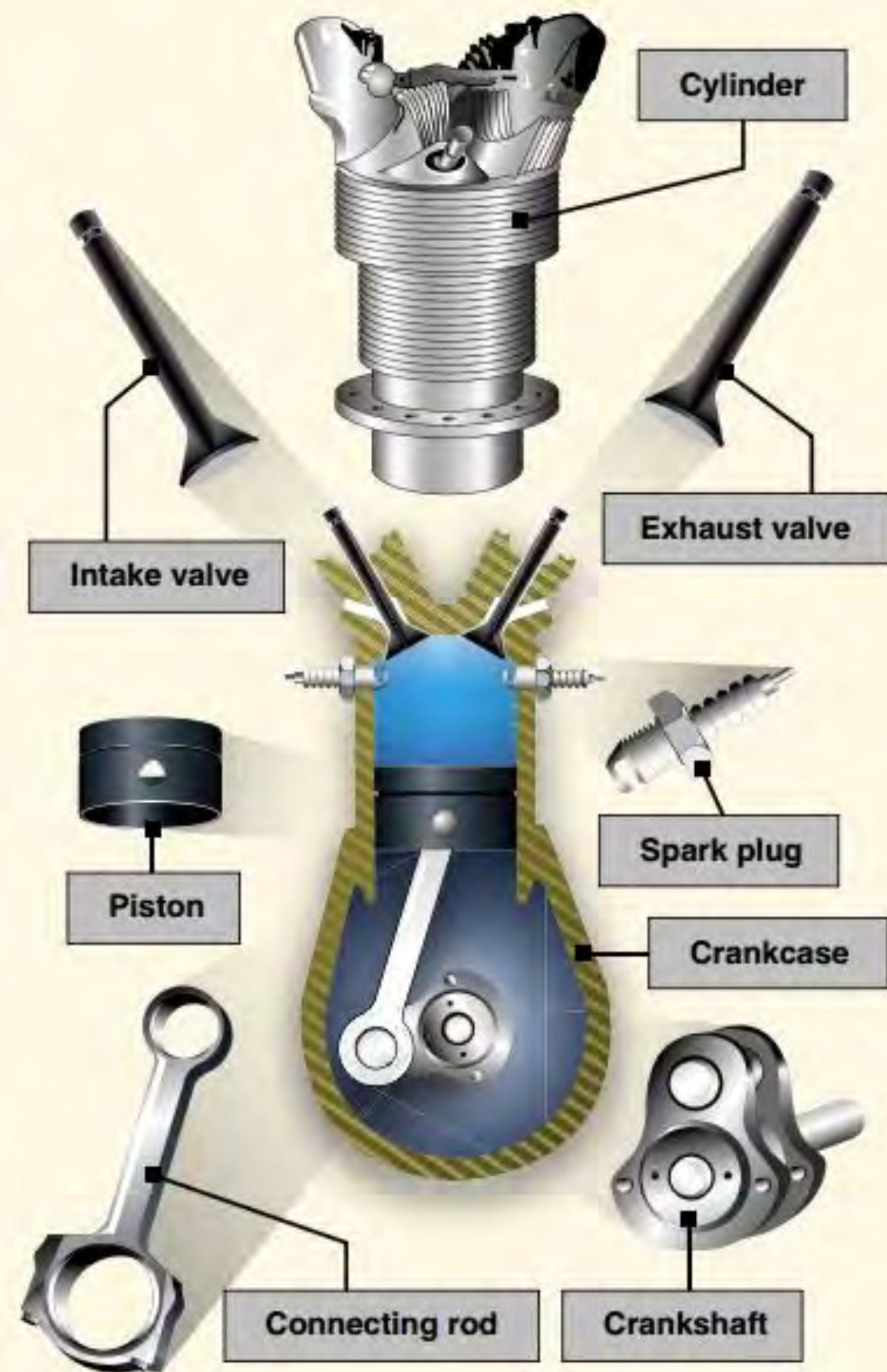
- ▶ 언어는 나의 사고과정 안에서 아무런 역할도 하지 못하는 것으로 보인다. 사고과정에 필수적인 역할을 수행하는 심리적인 실체들은 일종의 증후들이거나 분명한 이미지들로서, 자발적으로 재생산되고 결합되는 것들이다. 내 경우에 그 요소들이란 시각적이고 때로는 ‘형체까지 갖춘 것’들이다.
- ▶ 직감과 직관, 사고 내부에서 본질이라고 할 수 있는 심상이 먼저 나타난다. 말이나 숫자는 이것의 표현수단에 불과하다.

## 파인만의 회고

.....

우리가 11살 또는 12살 무렵의 어느 날 무엇인가에 대해 토론하고 있었다. “생각한다는 것은 자기 자신에게 이야기하는 것에 불과해”라고 나는 말했다. 그러나 베니는 “정말 그렇다고 생각하니? 너는 자동차의 이상하게 생겨먹은 크랭크축을 아니?”라고 반문했다. “그래 그것이 어때서?” “그렇담 말야. 혼잣말을 할 때 너는 그것을 어떻게 묘사했니?” 그때서야 나는 사고가 언어적일 뿐 아니라 시각적이라는 것을 베니로부터 배웠다.

리처드 파인만, 1988.





# 솜씨(SKILL)와 암묵적 지식

.....



- ▶ 마이클 폴라니의 통찰
  - ▶ 과학에도 솜씨가 필요하다.
  - ▶ 솜씨에는 말로 표현되지 않는 암묵적인 지식이 숨어있다.
- ▶ 과학의 솜씨?
  - ▶ 관찰 능력
  - ▶ 실험 능력
  - ▶ 계산 능력
- ▶ 솜씨는 언어로 환원 불가능
- ▶ 때문에 과학지식은 논문만으로는 잘 전달이 안 됨.



## 언어와 솜씨

.....

- ▶ 언어 습득은 솜씨에 의존
- ▶ 아기가 '가리키는' 동작의 의미를 이해하지 못한다면 우리는 아이에게 단어를 '가르칠' 수 없다.
- ▶ 언어를 배운 후 가리키는 동작은 말로 표현 가능. 그러나 그 말로는 언어를 모르는 아이에게 언어를 가르칠 수는 없다.



# 언어와 규칙

---



“옳지”

‘이럴 때 “옳지”라고 하는 거구나’



## 비트겐슈타인의 결론

.....

- ▶ 언어의 의미는 사용에 의존
- ▶ 언어는 사회적 규칙에 기반하지 않을 경우 의미가 없어진다.
- ▶ 결국, 언어만으로 과학지식을 다 표현하고 습득하고 전달할 수 있다는 생각은 잘못!



# 새로운 개념의 습득/창조

---

기존 개념으로는 표현되지 않는 대상 존재  
개념화 과정은 비언어적 사고와 실천 동반

# 은유의 편재

---

알아 들었어

귀가 어둡다

온도가 올랐다

앞으로 잘 할게요

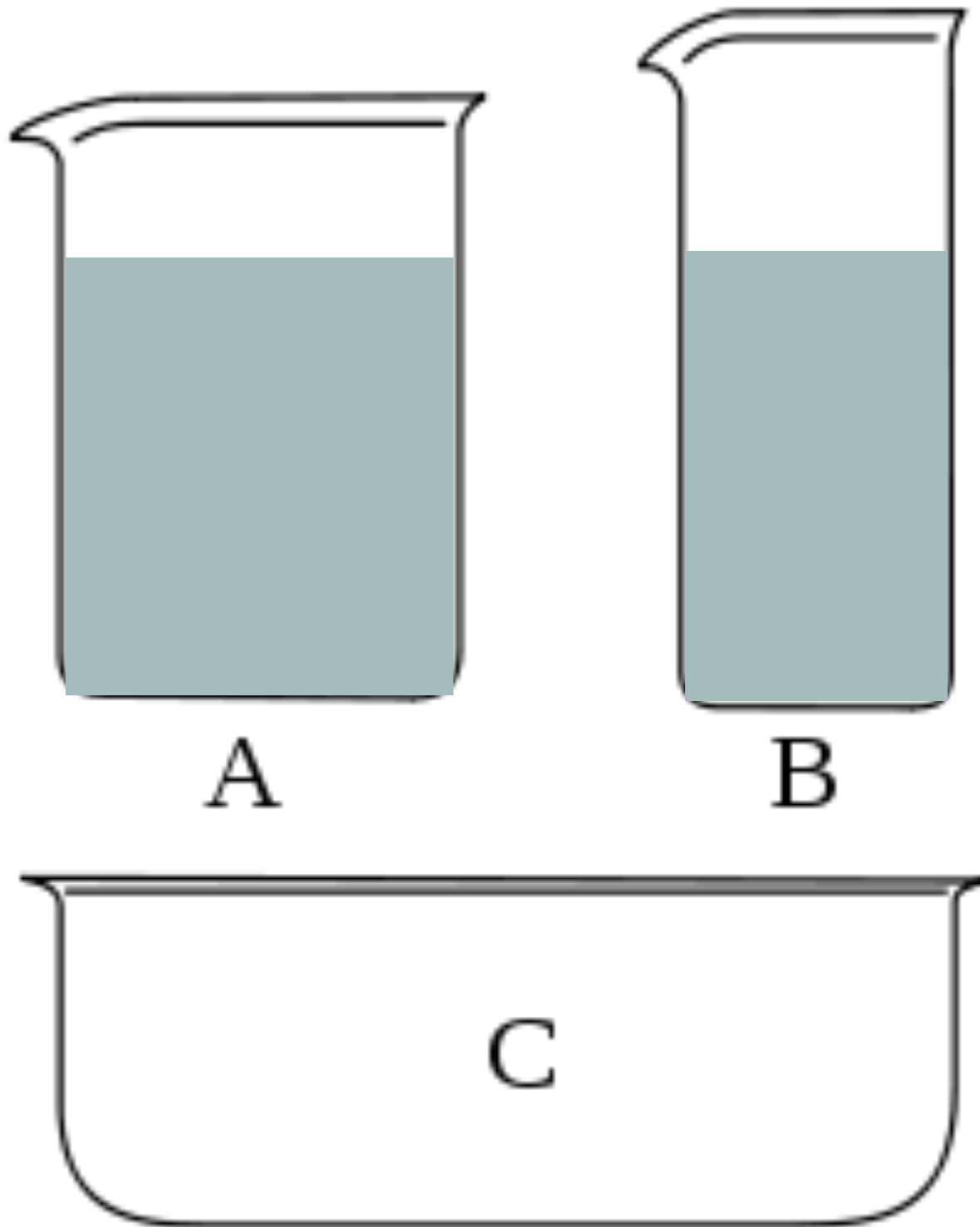
밥 먹기 전에 손 씻자

이러한 은유를 사용하지 않고 이야기할 수는 없을까?



## 양 VS. 정도(강도)

- ▶ 열량 vs. 온도
- ▶ 전하량 vs. 전위
- ▶ 서로 다른 “용량”의 용기에 은유!





# 개념의 창조와 과학적 모형

.....

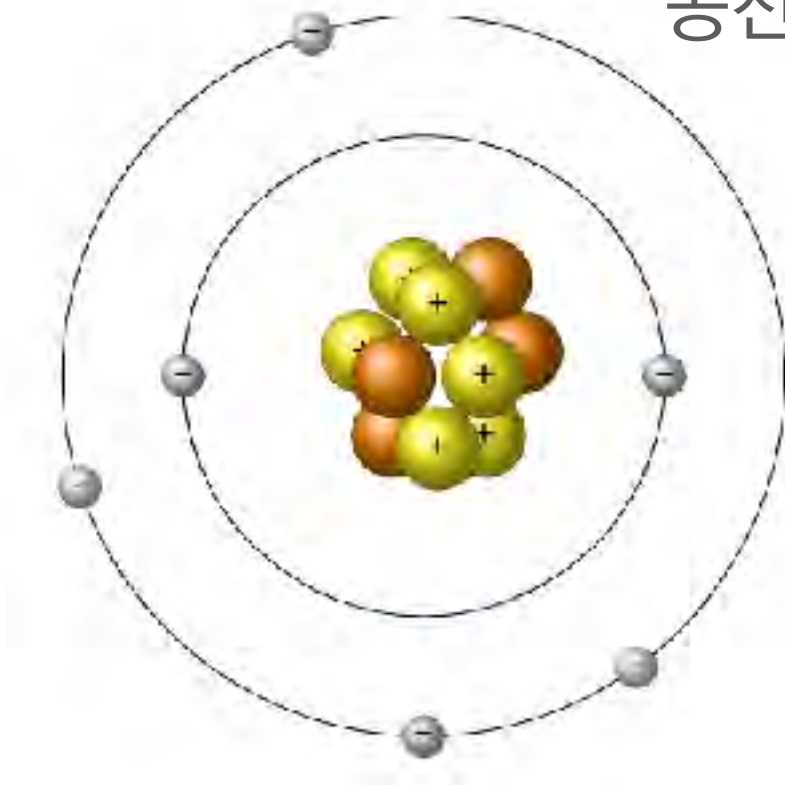
- ▶ 과학적 모형
  - ▶ 미지의 대상을 좀더 친숙한 것에 비유해서 표현하려는 시도
  - ▶ 빛의 파동 모형
  - ▶ 원자의 태양계 모형
- ▶ 모형의 삼중구조 by Mary Hesse
  - ▶ 긍정적 유비
  - ▶ 부정적 유비
  - ▶ 중립적 유비
- ▶ 중립적 유비를 시험하고 발달시키면서 지식 성장



# ‘스핀’ 개념의 탄생

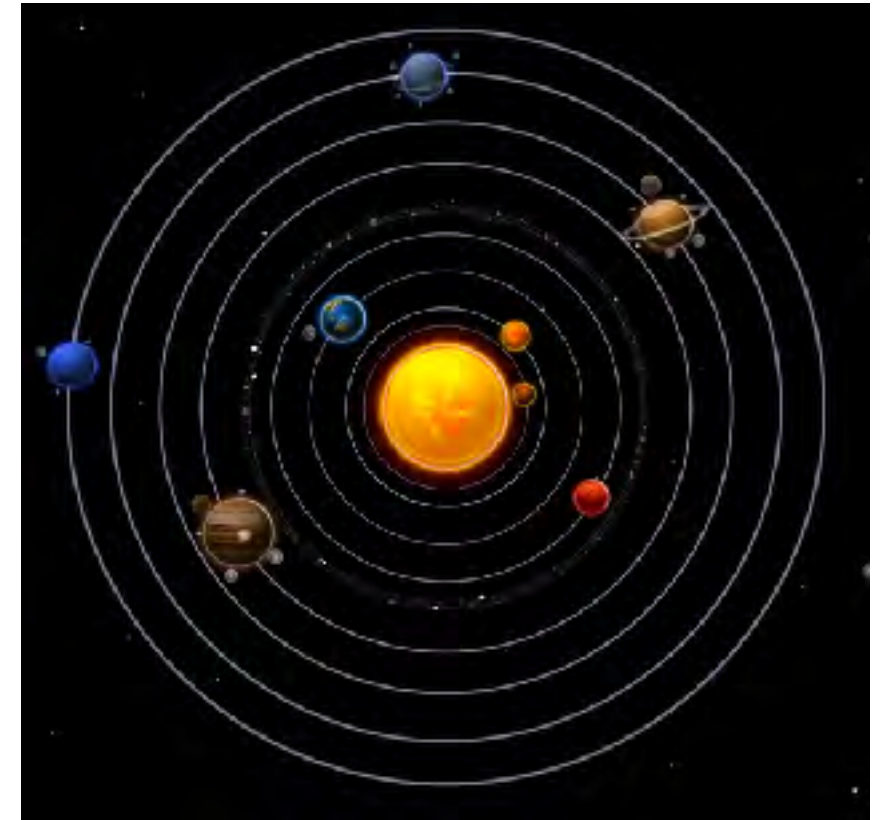
---

공전 궤도?



보어의 원자 모형

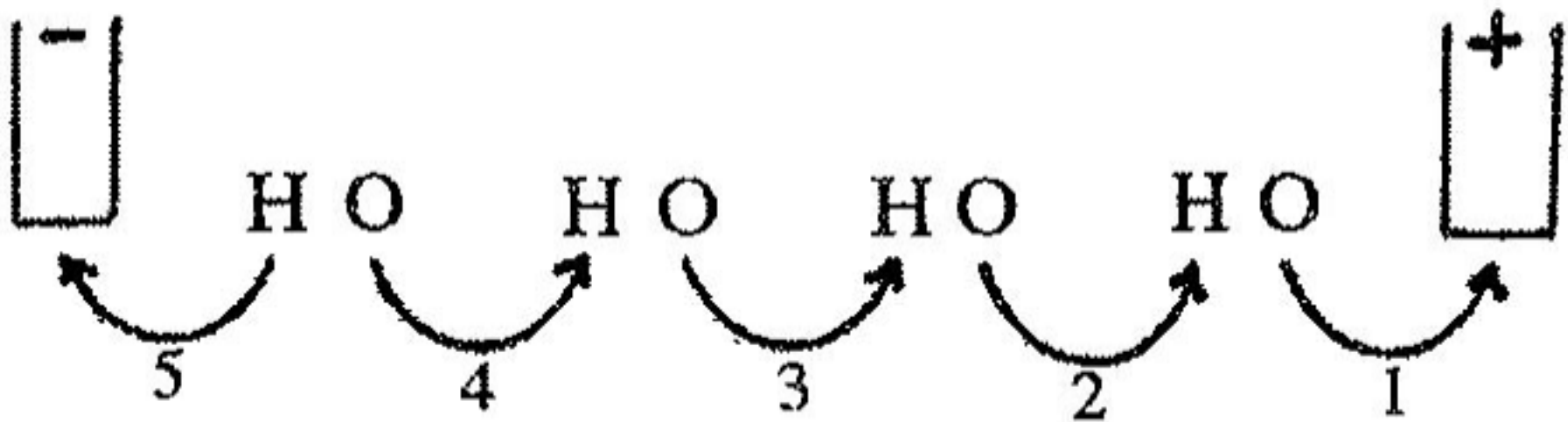
그러면 혹시 전자도  
태양계의 행성처럼  
자전을 하지 않을까?



태양계

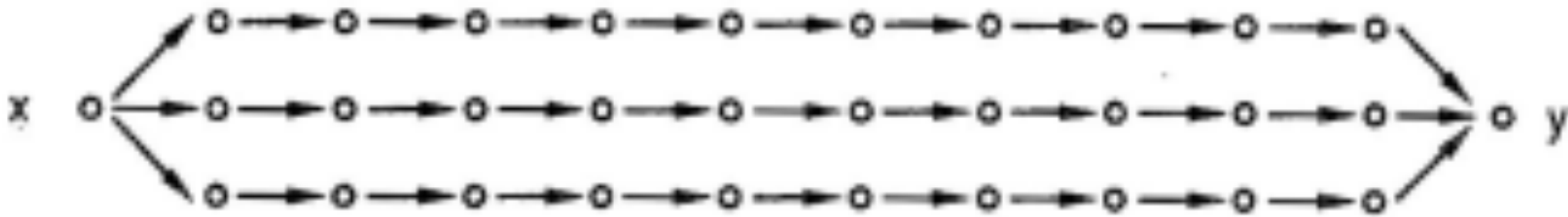
# 패러데이의 장 개념 (초기)

전기분해



양쪽 전극에서 나타나는 물의 전기분해는 전극 사이에 존재하는 물의 연쇄적인 분해와 재합성을 통해 일어남.

정전기 유도



전기력은 인접한 입자들을 통해 전달 전하는 ‘전기유도선’ 말단의 잉여 극성

이러한 생각은 매질의 영향을 탐구하도록 유도(정전기 유도 용량 발견)



# 맥스웰이 씨름했던 한 가지 문제

.....

맥스웰이 씨름했던 한 가지 문제

자침이  
움직이는 이유는 무엇까?



전류 방향



# 원거리 직접 작용(앙페르) VS. 공간을 통한 전달(패러데이)

.....



앙페르

Andre Marie Ampere

도선과 자침이 직접  
힘을 주고 받는다.



패러데이

Michael Faraday

도선과 자침 사이의 공간을 통해  
힘이 전달된다.



# 맥스웰의 기획 : 패러데이식 아이디어의 수학화

.....

“공간을 통해 힘이 전달된다”는  
패러데이의 생각을  
수학적으로 표현할 수 있을까?

도선과 자침  
힘을 주고 받는다.



패러데이  
Michael Faraday

도선과 자침 사이의 공간을 통해  
힘이 전달된다.



# 전기장, 자기장, 전하, 전류 사이의 4가지 수학적 법칙 제안




가우스의 법칙

모든 전기력선은  
전하에서 시작하여  
전하에서 끝난다.

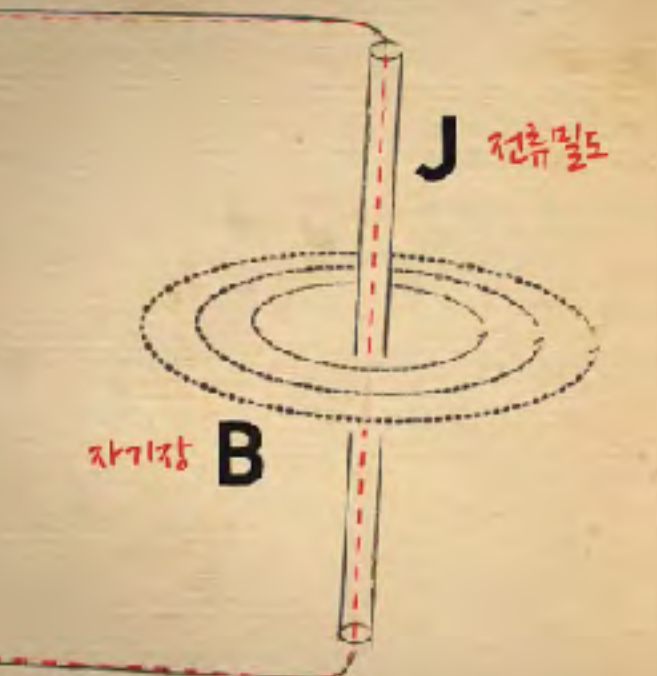
$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$$

전하밀도  
유전율



자기장에 관한 가우스의 법칙

모든 자기력선은  
폐곡선을 이룬다.

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$


앙페르의 법칙

전류가 흐르면  
자기장이 형성된다.

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu \mathbf{J}$$

자기장  
전류밀도  
매질의 투자율



패러데이의 법칙

자기장이 변하면  
전류가 유도된다.

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

자기장의 변화율



# 맥스웰의 추가적인 궁금증

.....



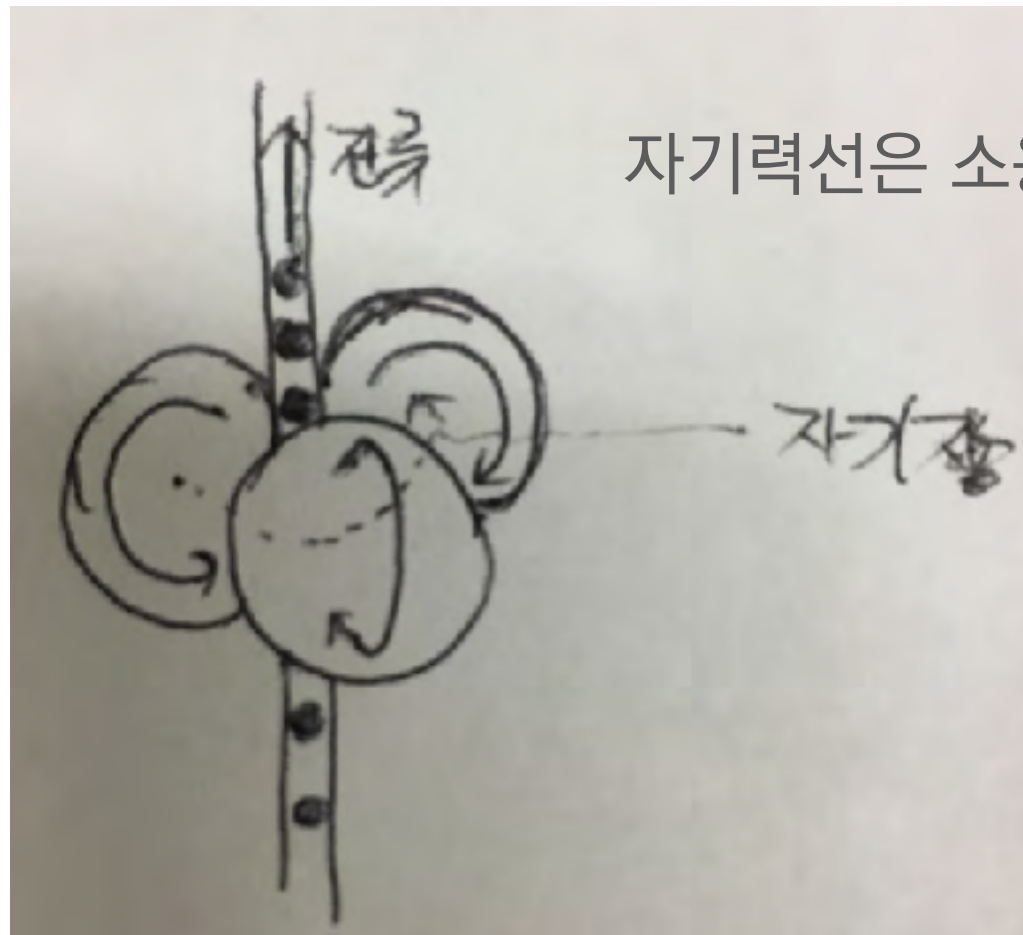
하지만 아무 것도 없는 공간 속에서  
전기장과 자기장은 어떻게 만들어져 멀리까지 전달되는 것일까?  
혹시 공간은 눈에 보이지 않는 매질로 가득 채워져 있는 것이 아닐까?

- James Clerk Maxwell  
1831 ~ 1879

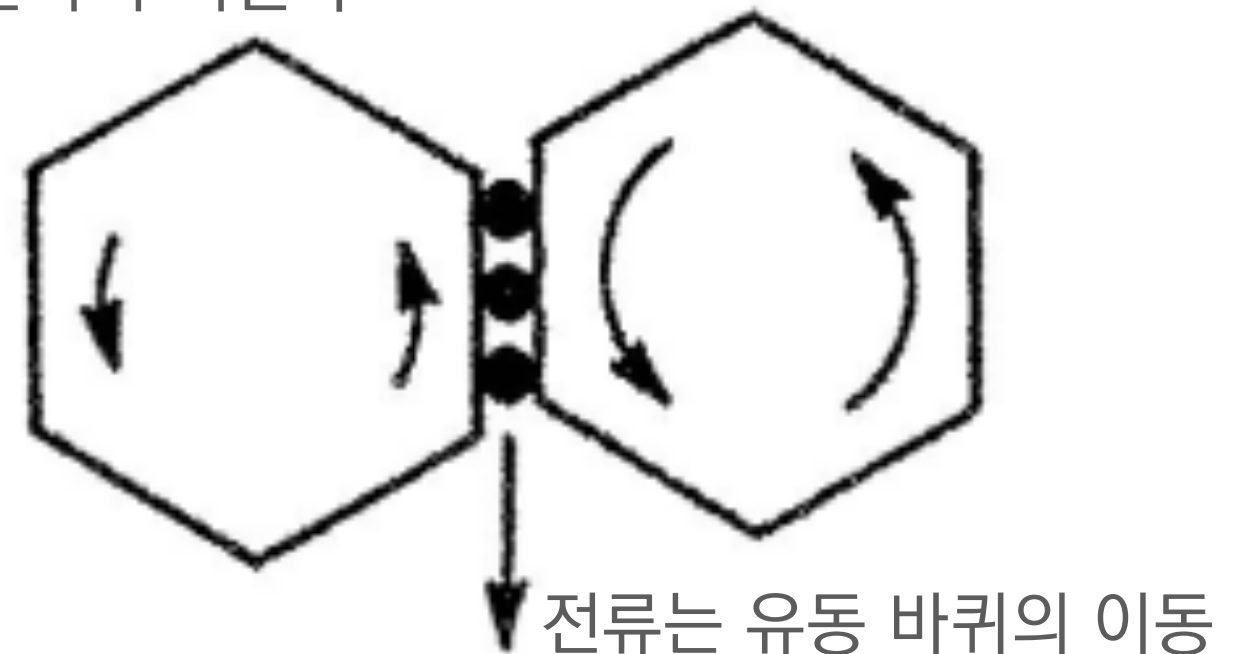
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

# 맥스웰의 전자기장 모형 : 역학적 매질의 운동

.....



전류의 자기 작용

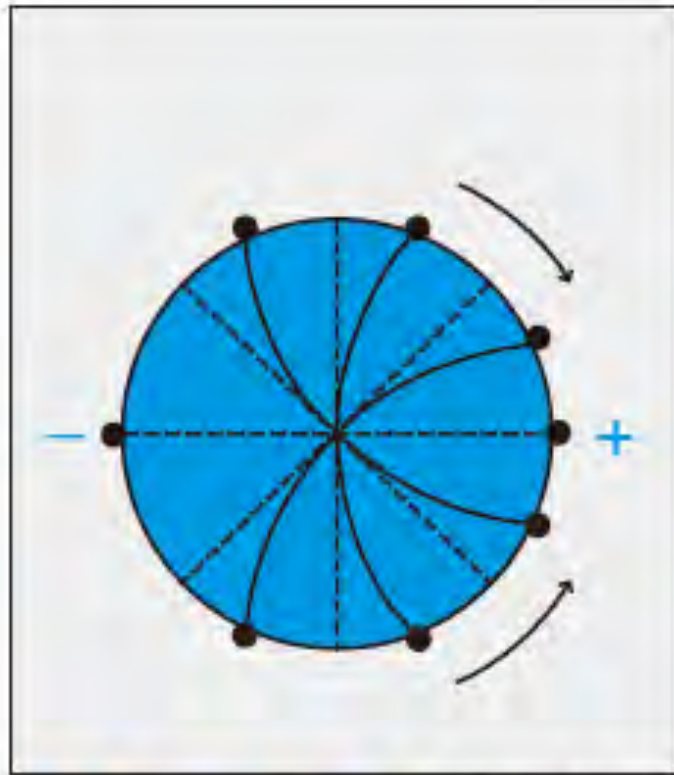


자기의 전류 작용

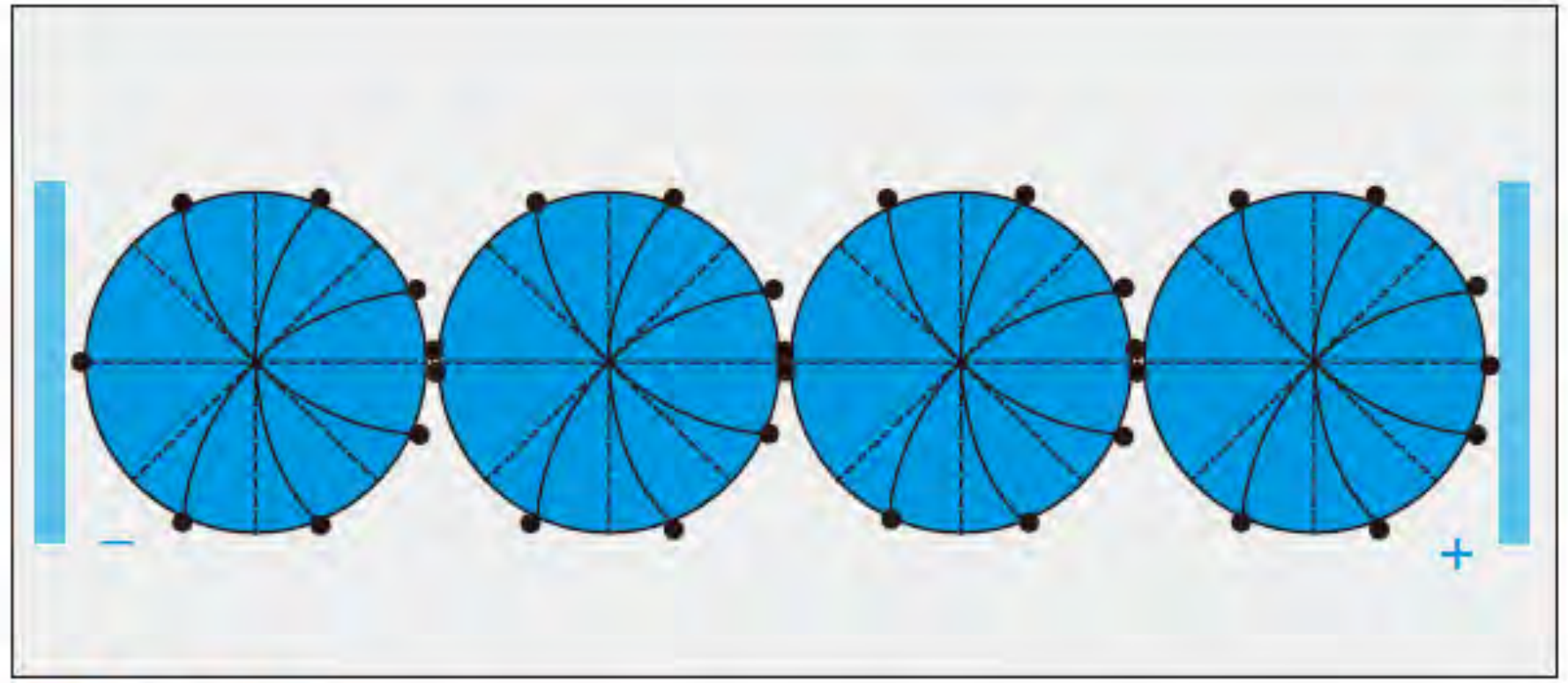
도체 속 유동바퀴는 회전 및 이동 가능  
부도체 속 유동바퀴는 제자리 회전만 가능



# 탄성의 추가: 미끄럼 방지 및 전기력선의 표현



■ ■ ■ 그림 4-16 소용돌이 분자의 탄성 변형에 의한 분극. (출처: 맥스웰이 패러데이에게 보낸 편지, 1861년 10월 19일)

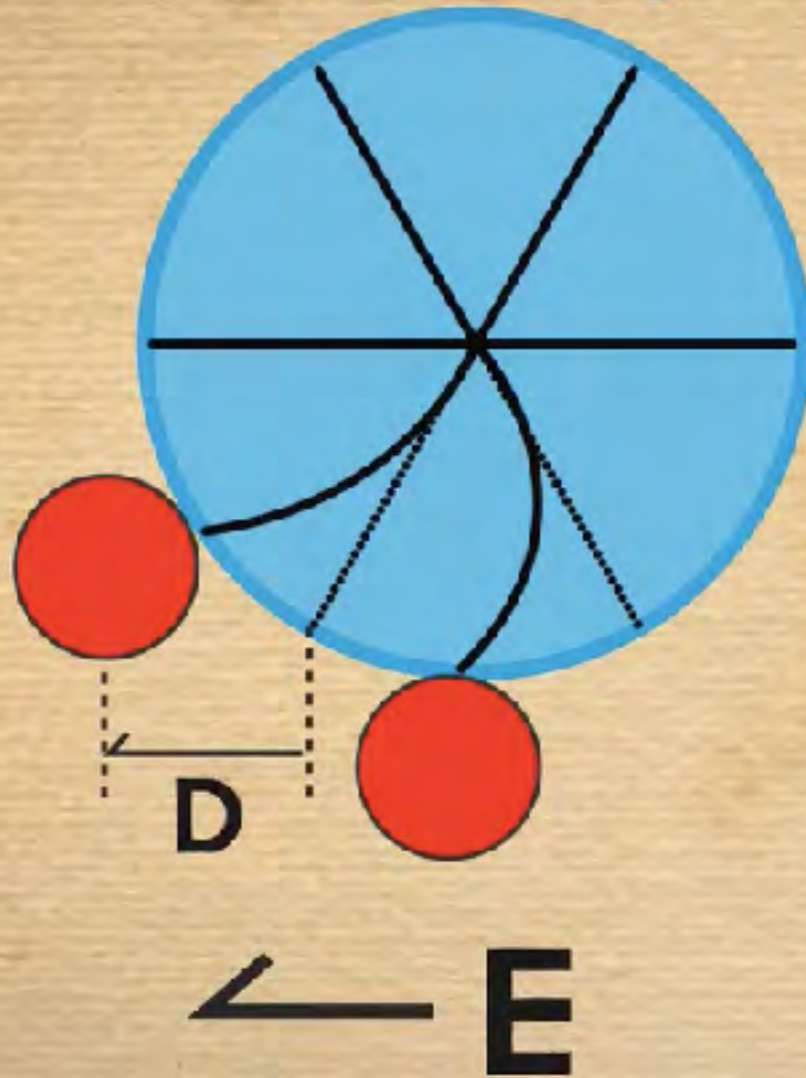


■ ■ ■ 그림 4-17

탄성 변형에 의한 연쇄적 분극 상태의 양쪽 말단의 잉여 극성으로서의 전하.



탄성 매질



이렇게 매질에 속박된 전기입자가 움직일 수 있다면, 가설  
 그것은 공간에 흐르는 "변위전류"의 존재를 의미한다.

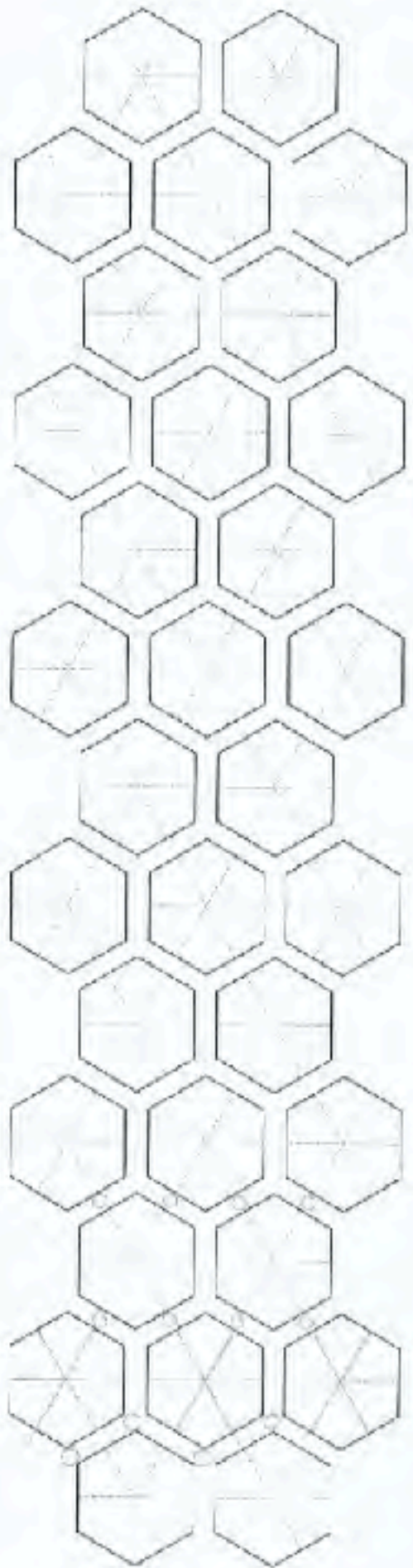
$$E = \frac{1}{\epsilon} \textcircled{D} \quad \text{전기변위}$$

$$\textcircled{\frac{\partial D}{\partial t}} = \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad \text{변위 전류} \star$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu \mathbf{j} + \mu \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

수정된 앙페르의 법칙





## 전자기파의 탄생

탄성의 추가로 유동바퀴의 좌우 쏠림(전기장)과 소용돌이 분자의 시계/반시계 방향 회전 운동(자기장)이 점진적으로 전달되는 전자기파가 만들어지며, 그 전달 속도는 이론적으로 계산 가능.

그리고 그 속도는 빛의 속도와 일치  
빛 = 전자기파!

지금은 폐기된 모형이지만, 그것 없이 맥스웰의 전자기파 개념과 맥스웰 방정식이 완성될 수 있었을까?





**은유는 미지의 세계로 가는  
유일한 다리 by 제럴드 홀튼**

## 은유는 왜 필요한가?

.....

- ▶ 전혀 새로운 현상에 부딪힐 때, 우리에게는 그러한 것들을 서술할 적합한 개념이 없다. 그것을 어디서 찾을 것인가?
- ▶ 다른 현상을 서술하는 데 이미 사용하던 다른 개념들
- ▶ 왜 ‘직유’가 아니라 ‘은유’인가?
  - ▶ A가 가진 성질 a가 미지의 대상 B가 가진 성질 b와 비슷하다고 말하는 것이 불가능. 왜냐하면 우리는 B에 대해 충분히 알지 못하기 때문.

새로운 개념을 창안하는  
창의성은 어떻게 배울 수 있을까?

# 과학의 솜씨

---

- ▶ 과학에는 언어나 수학기호식으로 표현되지 않는 부분이 있으며, 과학을 잘 하려면 과학 이론뿐만 아니라 그러한 솜씨를 배워야 한다.
- ▶ 솜씨를 어떻게 가르칠 것인가?
  - ▶ 폴라니 : 도제식 교육
  - ▶ 쿤 : 패러다임의 모방



# 정상과학과 창의성

---

- ▶ 포퍼 : 정상과학적 교육은 기존의 패러다임에 세뇌를 당한 인물을 만들고, 그런 인물들은 창의적인 일을 하지 못할 것이다.
- ▶ 쿤의 반박
  - ▶ 첫째, 정상과학의 퍼즐 풀이 자체도 매우 창의적인 작업이다.
    - ▶ 천왕성 궤도 설명 / 중력파 검출 등
  - ▶ 둘째, 혁명적 창의성은 필요하면 결국 생긴다.  
위기 상황에서야 혁명적 창의성은 진정한 가치를 발휘하며,  
정상 상황에서 발휘하는 혁명적 창의성은 별 가치가 없다.

# 코페르니쿠스 혁명과 위기

---

- ▶ 코페르니쿠스가 살던 시기가 천문학의 위기였을까?
- ▶ 코페르니쿠스는 어떻게 지구가 태양을 중심으로 돈다는 이단적인 견해를 떠올릴 수 있었고, 그것을 고수할 수 있었을까?
- ▶ 코페르니쿠스 이전에 제안되었던 태양중심설은 왜 혁명을 만들어 내지 못했을까?
- ▶ 이 질문들에 답하기 위해서는 무엇보다도 코페르니쿠스가 당대 최고의 천문학자였다는 점을 고려해야.



# 몇 가지 고찰

---

- 필요는 발명의 어머니?
  - 여기서의 필요가 객관적인 필요일 필요는 없음.
  - 개인이 해결하고자 하는 절박한 문제가 있기만 하면 됨.
  - 문제를 스스로 해결하고자 할 때 창의성은 자연스럽게 발휘됨
- 그러나 새로운 생각을 위해서는 새로움을 위한 기본 재료가 필요
  - 현 패러다임과 다른 사고방식이 존재해야(패러데이)
  - 은유의 자원으로 사용하려면 능숙하게 다룰 수 있어야(맥스웰)
- 새로운 생각의 필요를 느끼기 위해서는
  - 기존 체계에 대한 심도 깊은 이해 필요(코페르니쿠스)